



М. Ю. Карпенко, Ю. В. Пахомов, О. Б. Костенко

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків, Україна

МОДЕЛЬ ЕКОНОМІЧНОЇ РІВНОВАГИ ЯК КОМПОНЕНТ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

Наведено формалізовану математичну модель динамічної системи із регульованими параметрами, призначену для дослідження механізмів формування та підтримання стану економічної рівноваги за умов взаємодії виробника, сукупного споживача та органу цінового регулювання, а також слугує методологічним підґрунтям для розроблення інтерактивного тренажера чи іншого симуляційного засобу, призначеного для використання у дистанційному навчанні. Розроблена модель враховує замкненість економічного середовища та ґрунтується на поєднанні виробничих обмежень, функцій корисності споживача та динаміки ціноутворення. Виконано аналіз поведінки системи за різних співвідношень попиту й пропозиції, визначено чинники виникнення дисбалансів та умови їх компенсації шляхом цінових коригувань. Особливу увагу приділено математичному опису механізмів переходу до рівноважного стану, оцінюванню впливу нереалізованих залишків і відкладеного попиту на подальшу траєкторію руху системи, а також можливості застосування коефіцієнтів роздрібних цін як інструменту стабілізації економічної системи загалом. Розглянуто динамічний режим роботи моделі, що дає змогу відстежувати зміни стану системи упродовж послідовності ітерацій та формувати аналітичні висновки щодо ефективності обраної стратегії ціноутворення задля досягнення економічної рівноваги. Розширені можливості моделі зумовлюють виявлення критичних зон її функціонування, у яких рівноважні режими роботи стають нестійкими або трансформуються під дією нагромадженого дисбалансу. Запропонований підхід дає змогу дослідити передумови формування економічної рівноваги, охарактеризувати можливі режими функціонування системи залежно від зміни вхідних параметрів. Розроблений інструментарій забезпечує гнучке налаштування структури попиту та пропозиції, що підвищує точність відтворення реальних економічних процесів у навчальних умовах. Розроблена економічна модель реалізована у вигляді інтерактивного комп'ютерного тренажера, інтегрованого в систему дистанційного навчання. Такий підхід сприяє підвищенню рівня засвоєння матеріалу, розвитку аналітичного мислення здобувачів освіти та формуванню практичних компетентностей у сфері економічного моделювання. Отримані результати підтверджують доцільність впровадження засобів імітаційного моделювання в освітній процес, особливо за умов активної цифровізації та потреби в адаптивних формах навчання.

Ключові слова: економічна система; виробничі можливості; функція корисності; імітаційне моделювання; ціноутворення; дистанційна освіта.

Вступ / Introduction

Активне впровадження інформаційних технологій є ключовою ознакою розвитку сучасної системи освіти. За останні роки цифровізація стала визначальним чинником трансформації навчального процесу, а провідним напрямом застосування інформаційних технологій в освіті – розвиток та масштабне впровадження систем дистанційного навчання. Наразі дистанційні формати фактично інтегровані у всі рівні освіти, забезпечують безперервність навчального процесу та часто виступають основною технологією підготовки фахівців у різних галузях [16, 25].

Особливої актуальності дистанційна освіта набула за умов повномасштабної війни в Україні. Воєнний стан, постійні загрози безпеці, вимушені переміщення населення та руйнування освітньої інфраструктури іс-

точно ускладнили традиційні форми навчання. За таких умов дистанційна форма стала не тільки інновацією, а й критично необхідним інструментом збереження доступності освіти, координації навчального процесу та підтримання стійкості освітньої системи [4, 15, 20, 27]. Це потребує підвищення ефективності електронного навчання, удосконалення його методичних та технологічних складових, а також розроблення нових засобів підтримки навчального процесу.

Водночас, дистанційним технологіям навчання притаманні певні недоліки, пов'язані зі складністю сприйняття інформації через електронні комунікації та недостатньою інтерактивністю традиційних онлайн-платформ [2, 13, 25, 28]. Ці обмеження можуть бути мінімізовані застосуванням спеціалізованих інструментів, зокрема – навчальних симуляторів, тренажерів, ділових ігор, систем імітаційного моделювання, які забезпечують від-

Інформація про авторів:

Карпенко Микола Юрійович, канд. техн. наук, доцент, кафедра комп'ютерних наук та інформаційних технологій.

Email: my.karpenko@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5140-8271>

Пахомов Юрій Васильович, канд. техн. наук, доцент, кафедра комп'ютерних наук та інформаційних технологій.

Email: abc050073@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2267-8600>

Костенко Олександр Борисович, канд. фіз.-мат. наук, доцент, кафедра комп'ютерних наук та інформаційних технологій.

Email: ks42@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-9744-4377>

Цитування за ДСТУ: Карпенко М. Ю., Пахомов Ю. В., Костенко О. Б. Модель економічної рівноваги як компонент дистанційного навчання. Науковий вісник НЛТУ України. 2025, т. 35, № 6. С. 130–136.

Citation APA: Karpenko, M. Yu., Pakhomov, Yu. V., & Kostenko, O. B. (2025). Economic equilibrium model as a component of a distance learning system. *Scientific Bulletin of UNFU*, 35(6), 130–136. <https://doi.org/10.36930/40350616>

творення реальних ситуацій та сприяють формуванню практичних навичок [7, 9, 14, 21, 24]. Запровадження таких засобів є важливою умовою підвищення якості підготовки фахівців, особливо в економічних та управлінських спеціальностях.

Об'єкт дослідження – моделювання економічної рівноваги з можливістю її подальшого використання в інтерактивних симуляційних засобах дистанційного навчання.

Предмет дослідження – методи та засоби формалізованого процесу моделювання економічної рівноваги в динамічних економічних системах, що забезпечать розроблення теоретичного підґрунтя для подальшого створення інтерактивних симуляторів для дистанційних форм навчання.

Мета роботи – розробити формалізовану математичну модель економічної системи з регульованими параметрами, яка слугуватиме теоретичним підґрунтям для подальшого розроблення комп'ютерних тренажерів та симуляторів, орієнтованих на дослідження механізмів досягнення економічної рівноваги та застосування у дистанційній освіті.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- сформулювати формалізовану математичну модель економічної системи із врахуванням взаємодії виробника, споживача та регулятора цін, що дасть змогу реалізувати комп'ютерний тренажер як складову частину системи дистанційного навчання для підвищення ефективності підготовки здобувачів освіти;
- проаналізувати поведінку системи за різних співвідношень попиту й пропозиції та визначити умови виникнення економічних дисбалансів, що дасть змогу обґрунтувати ефективні механізми їх компенсації та забезпечити досягнення стану економічної рівноваги в динамічному режимі функціонування моделі;
- дослідити механізми переходу економічної системи до рівноважного стану, включно з оцінкою впливу нереалізованих залишків і відкладеного попиту, що дасть змогу сформулювати обґрунтовані підходи до її стабілізації, впорядкувати регуляторні впливи й підвищити ефективність механізмів підтримання рівноваги за умов структурних змін попиту та пропозиції;
- визначити ефективність коригування цін шляхом введення коефіцієнтів регулювання як інструменту стабілізації економічної системи, що дасть змогу підвищити точність відтворення поведінки економічної моделі та забезпечити коректне моделювання її реакції на зміни цінової політики за умов використання навчального симулятора.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У роботах [7, 24] автор проаналізував питання щодо оцінювання потенціалу цифрових бізнес-симуляційних ігор як інноваційного методу навчання у вищій бізнес-освіті за умов збройного конфлікту. На підставі спостережень та інтерв'ю зі студентами двох українських університетів досліджено їхній освітній, емоційний і соціальний досвід роботи з онлайн-симулятором. Результати показують, що бізнес-симуляції можуть забезпечувати безперервність і якість навчання навіть за умов дестабілізації та ризиків.

У роботі [21] автор висвітлює вимоги до використання методів активного навчання. Зазначено, що впровадження рольових, дидактичних ігор в їх оптимальному поєднанні з іншими методами професійної підготовки у процесі дистанційного навчання сприяє формуванню

практичних умінь, розвитку критичного мислення та підвищенню мотивації здобувачів освіти.

У роботі [9] автори проаналізували впровадження віртуальних симуляторів (VR-тренажерів та 3D-моделей) у професійній підготовці фахівців різних галузей. Автор систематизує напрями застосування симуляційних технологій, описує типові сценарії моделювання виробничих і навчальних ситуацій та аналізує їх педагогічну ефективність. Особливу увагу приділено впливу VR-симуляторів на формування практичних навичок, професійних компетентностей та безпечної поведінки.

У роботі [14] автори висвітлюють ключові світові тренди, зокрема описують промисловий симулятор, призначений для навчання цифровим технологіям і управлінню технологічними процесами. Автори розробляють динамічні моделі виробничих об'єктів та інтегрують їх у навчальний тренажер. Показано, як через симуляцію студенти можуть відпрацьовувати налаштування режимів, аналізувати наслідки рішень і помилок без ризику для реального обладнання. Результати свідчать про зростання технічних і проєктних компетентностей.

У роботі [27] автори проаналізували інтеграцію дистанційного навчання у військову освіту за умов воєнного стану, де цифрові формати стають необхідністю для поєднання служби та здобуття вищої освіти. У фокусі – сутність дистанційної та змішаної освіти, відмінності між синхронним та асинхронним режимами: перший дає швидкий зворотний зв'язок і підтримує групову взаємодію, другий – забезпечує гнучкість, індивідуальний темп і постійний доступ до матеріалів. Окреме місце займають платформи BigBlueButton, Zoom, Microsoft Teams, Google Classroom і Google Meet, які стали ключовими інструментами у військових закладах освіти.

У роботі [6] автори наводять основні моменти дослідження, у якому було розроблено економіко-математичну модель оптимізації тривалості етапів проєкту з метою підвищення ймовірності його успішної реалізації. Цільова функція моделі полягає у максимізації ймовірності виконання завдань та генерування нового знання на кожному етапі за умови дотримання загальної тривалості проєкту та логічної послідовності робіт. Модель враховує можливі комбінації тривалості етапів, їхню вартість і вагомість, визначену експертами.

У роботі [12] автори системно виклали теоретичні та практичні засади економічного моделювання. Розглянуто ключові типи економіко-математичних моделей, методи їх побудови та застосування для аналізу макро- і мікроекономічних процесів. Значну увагу приділено моделюванню економічної динаміки, оптимізаційним завданням та ухваленню управлінських рішень. Наведені приклади реальних економічних ситуацій та алгоритми моделювання можуть бути корисними як для студентів економічних спеціальностей, так і для фахівців, що працюють з аналітичними інструментами. Видання сприяє розвитку навичок використання математичного апарату для дослідження складних економічних систем.

Отже, внаслідок проведеного аналізу останніх досліджень та публікацій треба відзначити, що наявні роботи розглядають тільки окремі особливості імітаційного моделювання та використання симуляторів й не дають цілісного уявлення про поєднання сучасних інформаційних технологій та реальної готовності української освіти до цифрової трансформації. Сучасний стан наукових досліджень, який запропоновано у цій роботі,

підтверджує актуальність подальшого розроблення математичних моделей, тренажерів та інтерактивних засобів навчання, спрямованих на підвищення ефективності дистанційної освіти та забезпечення її стійкості до кризових умов.

Матеріали та методи дослідження. У дослідженні використано методи математичного моделювання динамічних економічних систем для формалізації взаємодії виробника, сукупного споживача та органу регуляції цін у замкненому економічному середовищі. Модель базується на описі виробничих можливостей, функції корисності споживача та механізмах ціноутворення, що дало змогу визначати оптимальні вектори виготовлення й попиту відповідно до заданих параметрів. Для аналізу перехідних процесів застосовано ітеративний підхід, який передбачає послідовне оновлення векторів цін, оцінку нереалізованих залишків, відкладеного попиту та перерозподілу фінансових ресурсів. Такий методичний підхід забезпечив можливість дослідити умови виникнення й компенсації економічних дисбалансів, а також оцінити вплив регуляторних цінових коефіцієнтів на досягнення рівноважного стану системи.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Економічна система в моделі інтерпретується як комплекс трьох взаємопов'язаних компонент: виробники, споживачі та органи цінового регулювання. Взаємодія цих компонент визначає траєкторію функціонування моделі [15, 27] (рисунок).

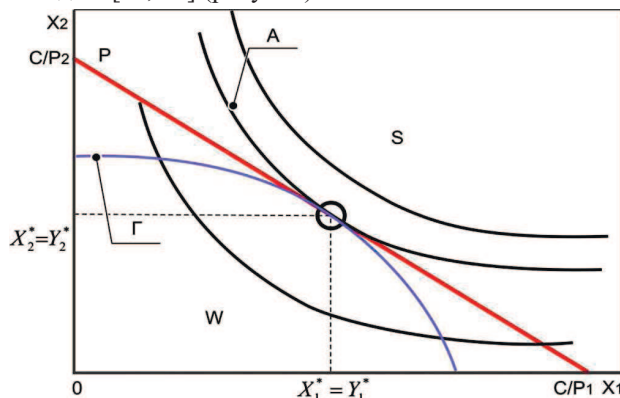


Рисунок. Криві споживчих переваг і можливостей виробника / Consumer preference and producer possibility curves

Нехай W – замкнена опукла множина виробничих можливостей виробника, n – номенклатура продукції, а можливості виробника наведені вектором X , тоді маємо такий набір елементів цієї множини:

$$X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}, X \geq 0, X \in W. \quad (1)$$

Виходячи з поточного вектора цін на номенклатуру n до множини виробничих можливостей формується межа G . Відповідно завданням виробника є визначення обсягів виготовлення продукції задля максимізації доходу [4], а саме

$$P \times X \rightarrow \max, X \geq 0, X \in W. \quad (2)$$

Розв'язання задачі (2) дає змогу отримати вектор X^* , що забезпечує суму коштів для виробника у розмірі $C = P \times X^*$. Систему в моделі вважають замкненою, тому сума C переходить до сукупного споживача, який, водночас, формує вектор попиту:

$$Y^* = \{Y_1^*, Y_2^*, \dots, Y_n^*\}, \text{ за умови } P \times Y \leq C. \quad (3)$$

Під час формування вектора попиту Y^* розв'язують задачу максимізації функції корисності з погляду споживача, тобто

$$U(Y) \rightarrow \max, P \times Y \leq C, Y \geq 0. \quad (4)$$

Оскільки система є замкненою, умову економічної рівноваги можна записати як $Y^* = X^*$. При цьому бюджетна лінія B (або, так звана лінія цін) розділяє дві опуклі множини W і S , а саме

$$S = \{X | U(X) \geq U(X^*)\}. \quad (5)$$

Для цієї моделі характерні такі ситуації [15]:

- попит та пропозиція незбалансовані, $X^* \neq Y^*$;
- номенклатура X^* , що відповідає оптимальному вибору з погляду виробника, має меншу користувацьку цінність для споживача, що обрав перелік Y^* , тобто $U(X^*) < U(Y^*)$;
- очікувана номенклатура з боку споживача $Y \notin W$ не може бути вироблена внаслідок виробничих обмежень W .

Усі вказані стани, що виникають у такій системі, свідчать про економічний дисбаланс, що є наслідком хибної цінової політики на етапах розв'язання задач (2) і (4).

Будемо вважати, що споживач не знає виготовлення X^* , але при цьому прагне задовольнити попит Y^* . Тоді загальний обсяг виготовлення продукції можна подати як:

$$\tilde{X} = \min_{i \in n} \{X_i^*, Y_i^*\}, \quad (6)$$

де обсяг нереалізованих залишків становитиме: $\Delta X = X^* - \tilde{X} \geq 0$, а сума коштів, що залишилися у споживача – відповідно $\Delta C = C - P \Delta X$. Сума ΔC після кожної ітерації моделі накопичується та формує фонд незадовільного попиту.

Розглянемо процес, що складається з T кроків, на кожній ітерації цього процесу формується вектор цін векторів $P(t)$, $t = 1, 2, \dots, T$. Будемо вважати, що на початку процесу $\Delta C(0) = 0$, $\Delta X(0) = 0$. Тоді t -й ітерації опозиція $\tilde{X}(t)$ складається із залишків $\Delta X(t-1)$ і додаткового обсягу виготовлення продукції $X^*(t)$, тобто

$$\tilde{X}(t) = X^*(t) + \Delta X(t-1). \quad (7)$$

Відповідно на t -й ітерації обсяг попиту $Y^*(t)$ визначимо як результат розв'язання задачі (2) для вектора цін $P(t)$ і поточного бюджету споживача:

$$C(t) = P(t) \cdot X^*(t) + \Delta C(t-1), \quad (8)$$

де $\Delta C(t-1)$ – обсяг відкладеного попиту на $(t-1)$ -й ітерації.

Тоді поточний стан моделі на t -й ітерації можна охарактеризувати співвідношеннями:

- обсяг реалізації
$$\tilde{X}(t) = \min \{ \tilde{X}(t), Y^*(t) \}; \quad (9)$$

- нереалізовані залишки
$$\Delta X(t) = \tilde{X}(t) - \tilde{X}(t); \quad (10)$$

- відкладений попит
$$\Delta C(t) = C(t) - P(t) \tilde{X}(t). \quad (11)$$

Розглянемо випадок для $n = 2$, коли співвідношення пропозиції і попиту може відповідати одній з чотирьох ситуацій: $\Delta X_1 > 0, \Delta X_2 = 0$; $\Delta X_1 = 0, \Delta X_2 > 0$; $\Delta X_1 = \Delta X_2 = 0$; $\Delta X_1 > 0, \Delta X_2 > 0$.

Розглянемо лінію $P \cdot X = q$, де q – вартість усієї номенклатури X у поточних цінах P . Бюджетна пряма B є паралельна до лінії цін, при цьому умовою рівноваги є $q = C$. Оскільки $q = p(X^* + \Delta X)$, $C = P \times X^* + \Delta C$, де ΔC – залишок грошових коштів у споживача, необхідною умовою рівноваги можна вважати:

$$\Delta C = P \times \Delta X. \quad (12)$$

Для довільного вектора цін $P(t)$ умова (12) виконується не завжди, тобто $\Delta C \neq P \Delta X$. У такому випадку для забезпечення умов рівноваги в моделі передбачено коригування положення бюджетної прямої через коефіцієнт цін η , а саме коригування виглядає так: $\eta \cdot P \times X = C$. Наприклад, якщо нереалізовані залишки завеликі, доцільно застосувати $\eta > 1$. За умови, що обсяг пропозиції перевищує поточний попит, доцільно використовувати $\eta < 1$. Назагал, для забезпечення умов рівноваги системи η потрібно вибрати зі співвідношення

$$\eta = \frac{P \times X^* + \Delta C}{P \times X^* + P \Delta X}. \quad (13)$$

Розглянемо застосування коефіцієнта η для забезпечення умови рівноваги в ситуаціях 3 і 4.

У ситуації 3 маємо $\Delta C > 0$, тобто існує перевага попиту над пропозицією, нульові залишки товарів за позитивного значення незабезпеченої пропозиції (тотальний дефіцит). За такої ситуації доцільно вибрати $\eta = 1 + (\Delta C / (P \times X^*)) > 1$, тобто забезпечити підвищення цін задля нівелювання відкладеного попиту. Зауважимо, що такий крок у цьому випадку є вимушеним, оскільки досягнути рівноваги іншими способами не дають змоги обмеження виробничих можливостей W .

У ситуації 4 пропозиція більша за поточний попит, при цьому $\Delta C = 0$, (тобто єдиним дефіцитним ресурсом є гроші). Тоді, згідно з виразом (13), вибираємо значення $\eta < 1$ (розпродаж у межах замкненої системи).

Розглянемо роботу моделі для двовимірного випадку. Для опису межі виробничих можливостей застосуємо еліпс:

$$\frac{X_1^2}{a^2} + \frac{X_2^2}{b^2} = 1, \quad (14)$$

де a і b – відповідно максимально допустимі обсяги виготовлення продукції кожного типу.

Рівняння бюджетної лінії, що дотична до еліпса (14) в точці (X_1^*, X_2^*) , має вигляд

$$\frac{X_1 X_1^*}{a^2} + \frac{X_2 X_2^*}{b^2} = 1, \quad (15)$$

а лінія цін $P \times X = d$ має відповідати умові

$$\frac{P_1 X_1}{d} + \frac{P_2 X_2}{d} = 1. \quad (16)$$

На підставі (15) та (16) маємо

$$\frac{P_1}{d} = \frac{X_1^*}{a^2}, \quad \frac{P_2}{d} = \frac{X_2^*}{b^2}, \quad P_1 X_1^* + P_2 X_2^* = d, \quad (17)$$

відповідно рішення (17) має вигляд

$$d = \sqrt{P_1^2 a^2 + P_2^2 b^2}, \quad X_1^* = \frac{P_1 a^2}{d}, \quad X_2^* = \frac{P_2 b^2}{d}. \quad (18)$$

Розв'язання рівняння (18) дає змогу отримати вектор оптимального виготовлення продукції та відповідний дохід d .

Для імітації поведінки споживача побудуємо низку ліній корисності, що описуються сімейством еліпсів з центром у точці $(0,0)$ і постійним коефіцієнтом розтягання β . Параметр β потрібен для імітації рівня корисності певного товару з погляду споживача. Сімейство ліній корисності у моделі можна описати так:

$$\frac{(Y_1 - O)^2}{a^2} - \frac{(Y_1 - O)^2}{(\alpha\beta)^2} = 1. \quad (19)$$

При $\beta = 1$ обидва товари з погляду споживача є рівноцінними. Параметр $\beta > 1$ означає перевагу в попиті

першого товару над другим. При $\beta < 1$ маємо зворотну ситуацію.

Точку перетину бюджетної прямої $P_1 X_1 + P_2 Y_2 = C$ з одним із еліпсів сімейства (19) можна знайти, розв'язавши систему рівнянь:

$$Y_1^* = -\frac{P_1 C}{P_1^2 + P_2^2 \beta^2} + O, \quad Y_2^* = -\frac{P_2 C \beta^2}{P_1^2 + P_2^2 \beta^2} + O. \quad (20)$$

Аналіз моделі дає змогу сформулювати низку висновків, що характеризують динаміку функціонування економічної системи з регульованими цінами.

Досягнення стану економічної рівноваги в подібній системі є теоретично можливим, однак його практична реалізація виявляється істотно ускладненою через нелінійність взаємозв'язків між попитом, пропозицією та чинниками цінової політики (див. рисунок). Навіть незначні відхилення у встановленні цін здатні змінити траєкторію розвитку системи та віддалити її від рівноважного стану.

У точці рівноваги пропорційне підвищення або зниження цін не спричиняє структурного дисбалансу. Проте, якщо на момент таких коливань у системі вже існує асиметрія між попитом і пропозицією – зумовлена, зокрема, відкладеним попитом або незадоволеною пропозицією – будь-які помилки в ціновому регулюванні мають тенденцію до мультиплікативного зростання. Виникає ефект масштабування, який підсилює початкові перекоси й сприяє нагромадженню загального дисбалансу.

За умов обмежених виробничих можливостей та значного початкового відхилення від рівноваги, наближення системи до цільового стану у прийнятні часові межі практично неможливе. У таких випадках необхідним інструментом коригування стає застосування коефіцієнта роздрібних цін, що відіграє роль компенсаторного механізму у процесі пошуку рівноваги.

При переході від системи з регульованими параметрами до системи із вільними цінами критичне значення має правильна послідовність змін у ціновій політиці. Спочатку потрібно досягти збалансованості внутрішньої системної динаміки, і тільки після цього поступово знімати цінові обмеження. Інакше зростання цін у поєднанні з ефектом масштабування може спричинити різке нарощування дисбалансу між попитом і пропозицією, який за умов обмежених виробничих потужностей буде практично неможливо компенсувати. За такої ситуації вимушене застосування високого коефіцієнта роздрібних цін фактично моделює сценарій стрімкого підвищення цін, що може мати риси гіперінфляційного процесу.

Наведену модель було використано для розроблення тренажера, що імітує роботу системи з регульованими параметрами. На початковому етапі користувач задає стартові умови та початковий вектор цін, що визначає подальшу поведінку виробника щодо формування обсягів виготовлення продукції з урахуванням виробничих обмежень і прагнення максимізувати дохід. Сформована пропозиція надходить на внутрішній ринок, де сукупний споживач, реагуючи на ціни та власні уподобання, визначає структуру попиту. Дисбаланс між попитом і пропозицією призводить або до повного поглинання товарів, що наближує систему до рівноваги, або до виникнення надлишкової пропозиції чи відкладеного попиту, які фіксуються моделлю у вигляді нереалізованих залишків і фонду незадоволеного попиту. На підставі отриманих результатів користувач може коригува-

ти ціни або застосовувати коефіцієнти їх зміни, після чого модель переходить до наступної ітерації. Ітеративний процес дає змогу простежити динаміку станів системи та оцінити наслідки управлінських рішень у контексті ефективності обраної цінової стратегії. Після завершення серії кроків тренажер формує послідовну історію дій, що забезпечує можливість узагальнення результатів та формування висновків щодо ефективності управлінських дій користувача.

Обговорення результатів дослідження. У роботах [10, 22] автори вказали на те, що пандемія COVID-19 та воєнний стан ускладнили навчання у ВНЗ України, особливо у технічних дисциплінах, де дистанційні формати не забезпечують повноцінної практичної підготовки. Автори розглядають навчання цього періоду як екстрене, що потребує технічних і методичних рішень та компенсаторних заходів. Обґрунтовано поєднання платформ Zoom і Moodle та наведено результати студентського опитування.

У роботах [11, 18] автори дослідили два напрями математичних спостережень в економічній галузі. По-перше, вивчають оптимізаційні задачі математичної економіки, до того ж розглянуто як статичні моделі (моделі виробництва і споживання), так і динамічні (зокрема моделювання процесу ціноутворення, односекторна модель оптимального економічного росту, моделювання науково-технічного прогресу). По-друге, значну увагу приділено теорії конкурентної рівноваги, математичним підґрунтям якої є багатозначний аналіз.

У роботах [5, 23] автори дослідили основи економічно-математичної моделі сучасного мікроекономічного аналізу, пов'язаного з теоріями поведінки споживачів, виробництв, моделями ринку, а також теоріями загально-економічної рівноваги. Автори, з особистого досвіду, підтвердженого анонімним анкетуванням групи студентів, пропонують при проведенні лабораторних занять комбінувати використання таких платформ навчання, як Zoom та Moodle. Наведено результати анонімного анкетування студентів, проведено їх аналіз.

У роботах [1, 19] автор проаналізував теоретико-методологічні засади моделювання середовища навчання сучасних педагогічних систем з урахуванням використання у навчально-виховному процесі інформаційно-комунікаційних технологій. Автор дослідив методики проведення занять за умов змішаного навчання з використанням мультимедійних засобів та інтерактивних лабораторних робіт.

У роботі [26] автор акцентує на зростанні впливу цифрових технологій на освіту та популярність змішаного навчання, яке не завжди правильно трактують педагоги. Подано авторське визначення змішаного навчання, його ключові компоненти та переваги, а також модель поєднання традиційного й електронного форматів. Наголошено на підвищених вимогах до сучасного вчителя, який має володіти цифровими інструментами.

У роботі [8] автори висвітлюють дослідження з розроблення Android-орієнтованого цифрового симулятора для студентів вищих навчальних закладів. Автори описують етапи розроблення моделі симулятора, валідацію експертами та польове тестування. Результати показали зростання початкових знань і навичок розв'язання задач у студентів, які працювали із симулятором. Робота демонструє, як цифровий тренажер може структуровано підтримувати розвиток практичних умінь.

Проведене обговорення результатів дослідження підтвердило доцільність і своєчасність саме нашого дослідження. В аналізованих роботах розглянуто близькі проблеми, однак вони здебільшого стосуються тільки окремих особливостей висвітлення теми, відрізняються за методологією й не пропонують настільки комплексного підходу, який обрано нами. Аналіз попередніх досліджень дає змогу зробити висновок, що ефективно використання дистанційної форми навчання потребує впровадження підходів до дистанційних курсів тренажерів та інших симуляційних інструментів, реалізація яких неможлива без відповідного математичного забезпечення.

Отже, внаслідок виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – удосконалено методику подання формалізованої математичної моделі економічної рівноваги системи, яка, на відміну від наявних, враховує особливості моделювання процесів адаптивного цінового регулювання обсягів виготовлення продукції за умов замкненого економічного середовища, що дає змогу здійснювати побудову інтерактивних навчальних тренажерів у дистанційному освітньому форматі для підвищення ефективності навчання фахівців економічного профілю.

Практична значущість результатів дослідження – запропоновану математичну модель можна використати під час розроблення навчального симулятора в системі дистанційної освіти як аналітичного інструмента для дослідження механізмів формування та підтримання стану економічної рівноваги за умов взаємодії виробника, сукупного споживача та органу цінового регулювання.

Висновки / Conclusions

Розроблено формалізовану математичну модель економічної системи з регульованими параметрами, яка дає змогу дослідити механізми взаємодії виробника, споживача та органу цінового регулювання в замкненому економічному середовищі. За результатами проведеного дослідження можна зробити такі основні висновки.

1. Запропонована модель динамічної системи із регульованими параметрами дає змогу відтворити механізми взаємодії виробника, споживача та органу цінового регулювання в замкненому економічному середовищі.
2. Запропоновану модель можна використати під час розроблення навчального симулятора у системі дистанційної освіти як аналітичного інструмента для дослідження механізмів формування та підтримання стану економічної рівноваги, вивчення впливу нереалізованих залишків і відкладеного попиту на траєкторію руху системи та динаміку переходу до рівноважного стану.
3. Використання моделі дає змогу виявити умови виникнення економічних дисбалансів, визначити інструменти їх компенсації, дослідити вплив нереалізованих залишків і відкладеного попиту на траєкторію руху системи та динаміку переходу до рівноважного стану.
4. Реалізація моделі у вигляді інтерактивного комп'ютерного тренажера та її впровадження до системи дистанційного навчання сприятиме розвитку аналітичних компетентностей здобувачів.

Запропоновану модель доцільно використовувати як основу для розроблення тренажера, що виступатиме функціональним компонентом дистанційної навчальної системи під час викладання економічних та управлінських дисциплін.

References

- Alekseyenko, S., Kadylnikova, T., & Dudnikov, V. (2022). Specific Methods for the Development and Conduct of Auditorium Lessons in Robotic Disciplines. *Modern Engineering and Innovative Technologies*, 1(24-01), 3–10. <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2022-24-01-022>
- Artiushyn, L. M. (2023). Distance learning: analysis of concepts, advantages, problems and development prospects. *Telecommunication and Information Technologies*, 1, 34–41. <https://doi.org/10.31673/2412-4338.2023.047383>
- Bilous, I. I., & Demianiuk, A. V. (2022). Modern educational technologies in the information society. *Innovative Pedagogy*, 54(1), 9–12. <https://doi.org/10.32782/2663-6085>
- Bilous, I. I., Krychivska, O. V., & Demianiuk, A. V. (2022). Distance education under crisis conditions. *Perspectives and Innovations of Science*, 8(13), 99–109. [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2022-8\(13\)-99-108](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2022-8(13)-99-108)
- Bykov, V. Yu. (2005). Theoretical and methodological principles of modeling the learning environment of modern pedagogical systems. *Information technology and learning tools*, 5–15. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/3583/1/1.pdf>
- Chaikovska, I., & Chaikovskiy, M. (2020). Development of an economic – mathematical model to determine the optimal duration of project operations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(3(105)), 34–42. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205114>
- Gawel, A., Ksendzuc, V., Patlatoi, O., & Wach, A. (2025). Digital business simulation games in higher education during armed conflicts. *The International Journal of Management Education*, vol. 23, issue 3. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2025.101261>
- Hidayatullah, R. S., Supardji, S., & Susila, I. W. (2024). Development of digital learning simulators to increase vocational students prior knowledge. *TEM Journal*, vol. 13, issue 3, 1981–1988. <https://doi.org/10.18421/TEM133-26>
- Holovko, D. (2023). The role of virtual simulators in developing safety skills and preparing for the labor market. Bila Tserkva Institute of Continuing Professional Education, University of Educational Management, National Academy of Educational Sciences of Ukraine.
- Hrashchenko, I., Krasniuk, S., Tsalko, T., Nevmerzhytska, S., & Liubymova, N. (2024). Effective computer modeling in educational management. *SWorldJournal*, 3(27-03), 3–17. URL: <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2024-27-00-021>
- Kapustyan, O. V., & Sukretna, A. V. (2011). Methods of nonlinear analysis in mathematical economics. Taras Shevchenko National University of Kyiv, 213 p. URL: <https://dif-feq.mechmat.knu.ua/download/NLAMinME.pdf>
- Kapustyan, V. O., Mazhara, G. A., & Fartushny, I. D. (2022). Modeling the economy [Textbook]. *Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute*. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50013>
- Kondratiuk, O. V., Diatlenko, O. M., & Honcharenko, P. M. (2023). Educational process in Ukraine: Challenges, problems, trends. *Academic Visions* 38, 79–92. URL: <https://www.academy-vision.org/index.php/av/article/view/360>
- Koteleva, N., et al. (2021). A Simulator for Educating the Digital Technologies Skills in Industry. Part One. Dynamic Simulation of Technological Processes. *Applied Sciences*, 11(22), 10–15. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/22/10885>
- Kukharensko, V. M., & Bondarenko, V. V. (Eds.). (2022). Emergency distance learning in Ukraine. Kharkiv: KP City Printing House, 409 p. URL: https://duan.edu.ua/images/News/UA/Departments/Management/2020/monograph_ekstr_dyst_navch.pdf
- Kyrylenko, V. I., & Chaliuk, Y. O. (2022). Assessment of Country Readiness for Distance Learning. *Pryazovskiy Economic Herald*, 1(30), 24–33. <https://doi.org/10.32840/2522-4263/2022-1-4>
- Luchaninova, O. P. (2022). Distance learning as a global educational trend: realities and prospects for higher education institutions of Ukraine. *Image of the Modern Pedagogue*, 1, 66–70. [https://doi.org/10.33272/2522-9729-2022-1\(202\)-5-10](https://doi.org/10.33272/2522-9729-2022-1(202)-5-10)
- Maly, I. Y., Radionova, Yu. I., Kutsenko, T. F., Fedirko, N. V., & others (Comps.). (2017). Macroeconomics: Basic electronic text of lectures. Kyiv National Economic University, 200 p. URL: http://feu.kneu.edu.ua/ua/depts4/mdu/disciplines_of_bachelor_level_mdu/macroeconomics/
- Mizyuk, V. (2019). Blended learning in the conditions of the modern paradigm of education. *Scientific notes of the Volodymyr Hnatyuk Ternopil National Pedagogical University. Series: pedagogy*, (2), 110–118. <https://doi.org/10.25128/2415-3605.19.2.14>
- Novytska, L. I. (2025). Blended learning in higher education during wartime. *Academic Visions*, 40, 52–61. URL: <https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/1712>
- Pashchenko, M., & Chernenko, L. (2023). Use of active learning methods in professional training of future specialists. *SWorld-Ger Conference Proceedings*, 1(gec 26-01), 83–86. <https://doi.org/10.30890/2709-1783.2023-26-01-022>
- Pizintsali, L. V., Shumylo, O. M., & Aleksandrovska, N. I. (2022). Conducting laboratory classes under distance conditions. *Academic notes. Series: Pedagogical Sciences*, 204, 298–306. <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2022-1-204-298-306>
- Ponomarenko, O. I., Perestyuk, M. O., & Buryk, V. M. (2004). Modern economic analysis. Part 1: Microeconomics. Higher School Publishing House, 262 p. https://mechmat.knu.ua/wp-content/uploads/2018/03/mikro_eko.pdf
- Vélez, A., & Alonso, R. (2025). Business Simulation Games for the Development of Decision Making: Systematic Review. *Education Sciences*, 15(2), 168. URL: <https://doi.org/10.3390/educsci15020168>
- Vorotnykova, I. P. (2022). Distance and blended learning as a means of implementing an individual trajectory of teacher development. Kyiv University of Borys Hrinchenko. URL: https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/41018/1/I_Vorotnykova_Monograph_2022_IPO.pdf
- Yashchuk, S. M. (2015). Professional training of a teacher of general technical disciplines: Theoretical aspect. URL: <https://dspace.udpu.edu.ua/bitstream/6789/3926/3/Metoduka%20ZTD%201.pdf>
- Yershova, O. L., Zuieva, A. B., Kruchek, V. A., Maiboroda, L. A., Radkevych, O. P., & Subina, O. O. (2023). Blended learning of future skilled workers during wartime and postwar period: methodical guide. *Institute of Vocational Education of the NAES of Ukraine*, vol. 2023, 186 p. <https://doi.org/10.32835/978-617-95325-8-0/2023>
- Zvarych, D. (2023). Theoretical concepts of distance learning. *Ukrainian Educational Journal*, 2, 115–124. <https://doi.org/10.32405/2411-1317-2023-2-115-124>

M. Yu. Karpenko, Yu. V. Pakhomov, O. B. Kostenko

O. M. Beketov National University of urban economy in Kharkiv, Ukraine

ECONOMIC EQUILIBRIUM MODEL AS A COMPONENT OF A DISTANCE LEARNING SYSTEM

A formalized mathematical model of a dynamic system with controllable parameters is presented, designed to investigate the mechanisms underlying the formation and maintenance of economic equilibrium under the interaction of a producer, an aggregate consumer, and a price-regulating authority, and serving as a methodological foundation for the development of an interactive simulator or other simulation tool intended for use in distance learning. The developed model accounts for the closed nature of the economic environment and is based on the integration of production constraints, consumer utility functions, and pricing dynamics. An analysis of the systems behavior under various demand – supply configurations has been performed, key factors leading to imbalan-

ces have been identified, and the conditions for their compensation through price adjustments have been determined. Particular attention is given to the mathematical description of the mechanisms governing the transition to an equilibrium state, the assessment of the influence of unsold inventories and deferred demand on the subsequent trajectory of the system, as well as the applicability of retail price coefficients as an instrument for overall system stabilization. The dynamic mode of the model is examined, enabling the tracking of system-state transitions over successive iterations and supporting analytical conclusions regarding the effectiveness of selected pricing strategies aimed at achieving economic equilibrium. The extended capabilities of the model make it possible to detect critical operating zones in which equilibrium regimes become unstable or transform under the influence of accumulated imbalance. The proposed approach allows for the investigation of the prerequisites for equilibrium formation and the characterization of possible system operating regimes depending on variations in input parameters. The constructed methodological framework provides flexible adjustment of the demand – supply structure, thereby increasing the accuracy of reproducing real economic processes in educational settings. The presented model has been implemented as an interactive computer simulator integrated into a distance learning system. This approach enhances the quality of knowledge acquisition, promotes the development of analytical thinking among learners, and supports the formation of practical competencies in economic modeling. The obtained results confirm the relevance and effectiveness of incorporating simulation-based tools into the educational process, particularly under conditions of active digitalization and the growing need for adaptive learning formats.

Keywords: economic equilibrium; economic system; production possibilities; utility function; simulation modeling; pricing; distance education.